

PCT/BE 99/00076

BE 99/76

#7

KONINKRIJK DER



NEDERLANDEN

S

Bureau voor de Industriële Eigendom



REC'D 21 OCT 1999

WIPO PCT

09/719757

Hierbij wordt verklaard, dat in Nederland op 16 juni 1998 onder nummer 1009422,

ten name van:

Dirk Ernest Maria VAN DYCK

te Aartselaar, België

een aanvraag om octrooi werd ingediend voor:

"Werkwijze en inrichting voor het corrigeren van nabijheidseffecten",

en dat de hieraan gehechte stukken overeenstemmen met de oorspronkelijk ingediende stukken.

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

Rijswijk, 21 juni 1999.

De Directeur van het Bureau voor de Industriële Eigendom,
voor deze,

A.W. van der Kruk.

WERKWIJZE EN INRICHTING VOOR HET CORRIGEREN VAN NABIJHEIDSEFFECTEN

De onderhavige uitvinding heeft betrekking op een werkwijze en inrichting voor het bepalen van de voor verkrijging van een gewenst patroon in een deklaag op een ondergrond per patroonpositie benodigde blootstellingsdo-
5 sis van een elektronenbundel.

Bij het vervaardigen van de nieuwste generaties van geïntegreerde schakelingen wordt bij voorkeur gebruik gemaakt van gefocusseerde elektronenbundels in lithogra-
fische processen in plaats van gebruik te maken van de
10 gebruikelijke optische lithografie-technieken, aangezien deze laatste technieken beperkingen met betrekking tot resolutie als gevolg van diffractie van het gebruikte laserlicht ondervinden. De resolutie van de geïntegreerde schakeling die verkregen wordt met elektronenbundellitho-
15 grafie is groter, doch wordt beperkt door verstrooiing of versmering van de elektronen uit de elektronenbundel. Er zijn werkwijzen bekend voor het minimaliseren van ver- strooiingseffecten of het vooraf hiervoor compenseren en het daardoor verbeteren van de resolutie van de verkregen
20 geïntegreerde schakelingen.

De bekende werkwijzen hebben echter als nadeel dat ze teveel berekeningstijd vergen (voor het vervaardi- gen van geïntegreerde schakelingen dient een zeer groot aantal patroonpunten, vaak in de ordegrootte van 10^{10}
25 patroonpunten, "geschreven" te worden, terwijl het aantal hiervoor benodigde berekeningen een veelvoud daarvan bedraagt). Hierdoor is een nagenoeg onvertraagde ("real time") voorcompensatie voor de versmeringseffecten niet uitvoerbaar.

30 Het doel van de onderhavige uitvinding is dit bezwaar te ondervangen en tevens aanvullende vooroordelen te verschaffen.

10000422

De onderhavige uitvinding heeft derhalve betrekking op een werkwijze voor het bepalen van de voor verkrijging van de gewenste patronen in een deklaag op een ondergrond per patroonpositie benodigde blootstellingsdosis van een elektronenbundel, omvattende:

- het bepalen van de versmeringsfunctie van de elektronenbundel;
 - het inverteren van de versmeringsfunctie;
 - het met de geïnverteerde versmeringsfunctie
- 10 bepalen van de bij elke patroonpositie van het gewenste patroon behorende blootstellingsdosis van de elektronenbundel, waarbij het bepalen zodanig wordt uitgevoerd, dat de blootstellingsdoses vrijwel uitsluitend positieve waarden bevat en dat een ten minste in
- 15 enige mate gladde oplossing wordt verkregen.

Aangezien een negatieve waarde voor de blootstellingsdosis van een elektronenbundel geen fysische betekenis heeft, wordt het inverteren van de versmeringsfunctie zodanig uitgevoerd dat deze (vrijwel) uitsluitend

20 positieve waarden bevat. Bovendien wordt een gladde oplossing voor de geïnverteerde versmeringsfunctie verkregen aangezien hevige oscillaties in de versmeringsfunctie geen fysische grondslag hebben, doch slechts veroorzaakt worden door mathematische instabiliteit van

25 de inversie.

Een voorkeursuitvoeringsvorm van de uitvinding omvat de stappen:

- a) het schatten van een regularisatie parameter;
- 30 b) het voor een bepaald patroonpunt bepalen van een vooraf gecompenseerd patroon, waarbij de overige patroonpunten van een versmeerd patroon gebruikt worden;
- c) het opnieuw versmeren van het vooraf gecompenseerd patroon voor het voorspellen van de dosis van
- 35 het bepaalde patroonpunt;
- d) het herhalen van stappen b en c voor het voor elk patroonpunt vormen van een voorafgecompenseerd patroon;

25 e) het herhalen van stappen a tot en met d met aangepaste regularisatie parameter totdat een eindwaarde van een regularisatie parameter met een minimale voorspellingsfout bereikt is;

5 f) het bepalen van het vooraf gecompenseerde patroon met de eindwaarde van de regularisatie parameter.

Volgens een verdere uitvoeringsvorm van de uitvinding omvat stap a) het minimaliseren van

$$\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (a_k - [Kd^k(\lambda)]_k)^2 w_{kk}(\lambda)$$

10 met elementen

$$w_{kk}(\lambda) = \left[\frac{1 - a_{kk}(\lambda)}{1 - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N a_{jj}(\lambda)} \right]^2$$

van matrix

$$W = K(K^T K + \lambda B(D))^T B(D)^{-1} K^T$$

Volgens een verdere uitvoeringsvorm van de
15 uitvinding omvat stap b):

$$d^{(1)} = d^{(1-1)} + (K^* K + \lambda B(D))^{-1} K^* r^{(1-1)} \quad r^{(1)} = a - K d^{(1)}$$

met $d^{(0)} = 0$ en $r^{(0)} = a$

waarbij K de versmeringsfunctie is, B een operator, λ een
20 regularisatieparameter, en d de blootstellingsdosis van een bijbehorend patroonpunt representeert.

Volgens een verdere uitvoeringsvorm van de uitvinding wordt de functie B als volgt gedefinieerd:

$$B(D) = \sum_i \left(\frac{d_i}{d_{tot}} \right) \ln \left(\frac{d_i}{d_{tot}} \right)$$

Volgens een verdere uitvoeringsvorm van de uitvinding omvat de werkwijze tevens:

- het invoeren van één of meer gewenste eerste patronen en de daarbij behorende blootstellingsdoses in
5 een neurale netwerk;
- het bepalen van de weegfactoren van het neurale netwerk;
- het met het neurale netwerk bepalen van de voor verkrijging van een gewenst tweede patroon benodigde
10 blootstellingsdoses.

Door een bekend eerste patroon, dat bij voorkeur eenvoudig is, de bijbehorende blootstellingsdosis te bepalen en vervolgens het verband tussen de weegfactoren van een neurale netwerk vast te leggen, wordt verzekerd
15 dat voor een tweede patroon, dat gecompliceerder kan zijn, het verkrijgen van het verband tussen dit patroon en de daarbij behorende blootstellingsdosis op zeer efficiënte en snelle wijze door het neurale netwerk wordt bepaald. Het eerste patroon is een over het algemeen
20 relatief eenvoudig trainingspatroon, terwijl het tweede patroon, bijvoorbeeld het patroon van een zeer gecompliceerde, geïntegreerde schakeling is.

In een voorkeursvorm van de uitvinding is het bovengenoemde neurale netwerk in hardware geïmplemen-
25 teerd, waardoor het bepalen van het verband tussen een patroon en de daardoor bijbehorende blootstellingsdosis op snellere wijze wordt bepaald, bij voorkeur binnen 100 ms voor een geïntegreerde schakeling met een patroon bestaande uit 10^{10} patroonpunten.

30 Volgens een voorkeursvorm van de uitvinding is de versmeringsfunctie opgebouwd uit ten minste twee Gaussische functies, waaraan eventueel een exponentiële functie is toegevoegd. Parameters van de Gaussische functies en eventueel de exponentiële functie zijn te
35 bepalen door middel van statistische simulatie van het systeem van elektronenbundelzendapparatuur en de betreffende deklaag en ondergrond van de te vervaardigen geïntegreerde schakeling.

In een andere uitvoeringsvorm van de uitvinding worden parameters bepaald door metingen te verrichten aan het systeem elektronenbundelzendapparatuur en de betreffende deklaag met ondergrond.

5 De onderhavige uitvinding heeft tevens betrekking op een inrichting voor het bepalen van de voor het verkrijgen van een gewenst patroon in een deklaag op een ondergrond per patroonpositie benodigde blootstellingsdosis van een elektronenbundel, omvattende een elektronische schakeling voor het implementeren van het bovengenoemde neurale netwerk met weegfactoren die op de bovengenoemde wijze zijn bepaald.

In een opstelling van apparatuur voor het zenden van een elektronenbundel 1 en een te behandelen
15 ondergrond 2 met deklaag 3 wordt een bundel elektronen 4 gericht op een positie of patroonpunt 5 van een deklaag 3 op een ondergrond 2. De interactie van de invallende elektronenstraal 4 met de deklaag of resistfilm 3 en de onderlaag of het substraat 2 heeft een verstrooiing van
20 de elektronen in de deklaag 3 tot gevolg hetgeen versmerings- ofwel nabijheidseffecten veroorzaakt. Wanneer bijvoorbeeld een primair elektron de deklaag 3 binnendringt, wordt een deel van zijn energie overgebracht op elektronen van de atomen van de deklaag 3, hetgeen ionisatie of excitatie daarvan veroorzaakt. Een botsing
25 tussen elektronen met een grote overdracht van energie genereert een secundair elektron, dat in het algemeen een verplaatsingsrichting loodrecht op die van een primair elektron heeft.

30 Meer in het algemeen hebben versmeringseffecten in elektronenbundellithografie betrekking op het proces waardoor de resolutie van het blootgestelde patroon verlaagd wordt door primaire elektronenverstrooiing en secundaire elektronopwekking in de deklaag 3 en de ondergrond 2 van een te vervaardigen geïntegreerde schakeling.
35 Scherpe kenmerken zoals hoeken in het gewenste patroon worden afgerond, lijndiktes en tussenruimtes worden aangepast en in bepaalde extreme gevallen verdwijnen

zelfs sommige kenmerken geheel of worden zij op incorrecte wijze samengevoegd met naastliggende kenmerken.

De versmeringseffecten of nabijheidseffecten zijn te beschrijven door een versmeringsfunctie, die het verband weergeeft tussen enerzijds de dosis van een bepaald patroonpunt van een te vervaardigen patroon in de deklaag en anderzijds de door dit patroonpunt en door naburige patroonpunten geabsorbeerde doses. Het effect van de versmering wordt derhalve vastgelegd in de versmeringsfunctie.

Ervan uitgaande dat de blootstelling en versmering lineair en spatieel invariant zijn en dat voor een numerieke oplossing een discrete representatie de voorkeur heeft kan het bovenstaande als volgt in matrixvorm tot uiting worden gebracht: $A = VB$, waarin A een kolomvector is waarvan elk element de totale energie die is geabsorbeerd in het bijbehorende patroonpunt, V een versmeringsmatrix is en B een kolomvector is die is opgebouwd uit de totale energie waaraan het bijbehorende patroonpunt is blootgesteld. Elk mn -de element van de versmeringsmatrix V is het gedeelte van de energie die geabsorbeerd is in patroonpunt m vanaf een eenheidsblootstellingsdosis die wordt geleverd aan beeldpunt n . Aangezien het versmeringseffect onvermijdelijk is, is het zaak om de blootstellingsdoses van de verschillende patroonpunten zodanig aan te passen dat de daadwerkelijk in een patroonpunt geabsorbeerde dosis zodanig is dat toch het gewenste patroon verkregen wordt. Deze zogenoemde precompensatie van de blootstellingsdosis van de elektronenbundel impliceert het bepalen van de inverse van de versmeringsmatrix V .

Er zijn vele manieren om een matrix in het algemeen te inverteren. Deze manieren houden vaak echter geen rekening met fysieke beperkingen, zoals in dit geval bijvoorbeeld die van de elektronenbundelzendapparatuur. Zo zijn er bijvoorbeeld geen negatieve blootstellingsdoses mogelijk. Bovendien is een bezwaar van dergelijke

inversiemethodes dat de geïnverteerde matrix veel oscillaties vertoont.

De uitvinding wordt voorts beschreven in het niet-voorgepubliceerde proefschrift met tekst "Proximity
5 effects correction in electron beam nanolithography", waarvan de inhoud in bijgevoegde bijlagen I-III is opgenomen. Tevens is in bijlage IV een korte samenvatting opgenomen.

CONCLUSIES

1. Werkwijze voor het bepalen van de voor verkrijging van een gewenst patroon in een deklaag op een ondergrond per patroonpositie benodigde blootstellingsdosis van een elektronenbundel, omvattende:

- 5 - het bepalen van de versmeringsfunctie van de elektronenbundel;
 - het inverteren van de versmeringsfunctie;
 - het met de versmeringsfunctie bepalen van de
bij elke patroonpositie van het gewenste patroon behoren-
10 de blootstellingsdosis van de elektronenbundel,
waarbij het bepalen zodanig wordt uitgevoerd, dat de
blootstellingsdoses vrijwel uitsluitend positieve waarden
bevat en dat een ten minste in enige mate gladde oplossing wordt verkregen.

15 2. Werkwijze volgens conclusie 1, omvattende de stappen:

- a) het schatten van een regularisatie parameter;
 b) het voor een bepaald patroonpunt bepalen van
20 een vooraf gecompenseerd patroon, waarbij de overige
patroonpunten van een versmeerd patroon gebruikt worden;
 c) het opnieuw versmeren van het vooraf gecompenseerd patroon voor het voorspellen van de dosis van het bepaalde patroonpunt;
25 d) het herhalen van stappen b en c voor het
voor elk patroonpunt vormen van een voorafgecompenseerd patroon;
 e) het herhalen van stappen a tot en met d met
aangepaste regularisatie parameter totdat een eindwaarde
30 van een regularisatie parameter met een minimale voorspellingsfout bereikt is;
 f) het bepalen van het vooraf gecompenseerde patroon met de eindwaarde van de regularisatie parameter.

3. Werkwijze volgens conclusie 2, waarbij stap
a) omvat het minimaliseren van

$$\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (a_k - [Kd^k(\lambda)]_k)^2 w_{kk}(\lambda)$$

5 met elementen

$$w_{kk}(\lambda) = \left[\frac{1 - a_{kk}(\lambda)}{1 - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N a_{jj}(\lambda)} \right]^2$$

van matrix

$$W = K(K^T K + \lambda B(D))^T B(D)^{-1} K^T$$

3. Werkwijze volgens conclusie 2, waarbij stap
10 b) omvat:

$$d^{(1)} = d^{(1-1)} + (K^* K + \lambda B(D))^{-1} K^* r^{(1-1)} \quad r^{(1)} = a - K d^{(1)}$$

met $d^{(0)} = 0$ en $r^{(0)} = a$
waarbij K de versmeringsfunctie is, B een operator, λ een
15 regularisatieparameter, en d de blootstellingsdosis van
een bijbehorend patroonpunt representeert.

4. Werkwijze volgens conclusie 2, 3 of 4,
waarbij de functie B als volgt gedefinieerd:

$$B(D) = \sum_i \left(\frac{d_i}{d_{tot}} \right) \ln \left(\frac{d_i}{d_{tot}} \right)$$

5. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, omvattende:

- het invoeren van één of meer gewenste eerste patronen en de daarbij behorende blootstellingsdoses in een neurale netwerk;

- het bepalen van de weegfactoren van het
5 neurale netwerk;

- het met het neurale netwerk bepalen van de voor verkrijging van een gewenst tweede patroon benodigde blootstellingsdoses.

6. werkwijze volgens conclusie 5, waarbij het
10 eerste patroon een relatief eenvoudig trainingspatroon is en het tweede patroon het patroon van een geïntegreerde schakeling is.

7. Werkwijze volgens conclusies 5 of 6, waarbij het neurale netwerk in hardware is geïmplementeerd.

15 8. Werkwijze volgens één van de voorgaande conclusies, waarbij de versmeringsfunctie ten minste is opgebouwd uit twee Gaussische functies.

9. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, waarbij aan de versmeringsfunctie tevens een exponentiële functie is toegevoegd.
20

10. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, waarbij de parameters van de Gaussische functies bepaalbaar zijn met behulp van statistische simulaties.

11. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, waarbij de parameters van de Gaussische functies
25 bepaalbaar zijn door metingen.

12. Werkwijze voor het bepalen van de voor verkrijging van een gewenst patroon in een deklaag op een ondergrond per patroonpositie benodigde blootstellingsdosis van een elektronenbundel, omvattende:
30

- het invoeren van een trainingspatroon en de daarbij behorende blootstellingsdoses in een neurale netwerk ter training daarvan;

- het bepalen van de weegfactoren van het
35 neurale netwerk;

- het met het neurale netwerk bepalen van de voor verkrijging van een gewenst patroon in een deklaag op een ondergrond benodigde blootstellingsdoses.

13. Inrichting voor het bepalen van de voor verkrijging van een gewenst patroon in een deklaag op een ondergrond per patroonpositie benodigde blootstellingsdosis van een elektronenbundel, omvattende:

- 5 - elektronische schakelingen voor het implementeren van een neurale netwerk met weegfactoren die bepaald zijn volgens conclusie 5.

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

This Page Blank (uspto)